

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ПОДВОЗБУДИТЕЛЯ СОВМЕЩЕННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕСЩЕТОЧНОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ

Совмещенная якорная обмотка подвозбудителя (ЯОПВ) совмещенного многофункционального бесщеточного возбудителя (СМБВ) размещается в полюсных наконечниках полюсов электромагнитного возбуждения [1] и предназначена для питания обмотки возбуждения возбудителя (ОВВ) через управляемый полупроводниковый преобразователь (УПП), см. рис.

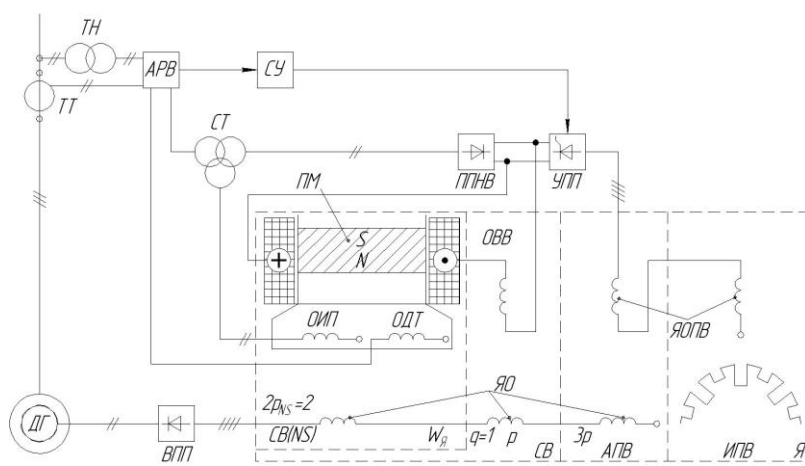


Рис. 1 Функциональная схема СМБВ: ИПВ – совмещенный индукторный подвозбудитель; АПВ – совмещенный асинхронный подвозбудитель; АРВ – источника питания автоматического регулятора возбуждения; ДТР – датчика тока ротора; ПМ – постоянный магнит; ВПП – вращающийся полупроводниковый преобразователь; СУ – система управления; ЯО – якорная обмотка возбудителя; ППНВ – полупроводниковый преобразователь начального возбуждения;

СТ – согласующий трансформатор

Совмещенную ЯОПВ выполняют таким образом, чтобы в ней наводилась ЭДС от зубцовой составляющей магнитного потока, (индукторная ЭДС), а так же ЭДС от третьей и пятой гармоники поля реакции якоря (асинхронная составляющая ЭДС). Для исключения негативного влияния фазового сдвига индукторной и асинхронной составляющей ЭДС, зависящего от характера нагрузки возбудителя, ИПВ и АПВ выполняются на разные частоты, различающиеся в два раза. При работе от ЭДС двух частот УПП выполняет функцию фильтра, поскольку выпрямленное напряжение на выходе преобразователя зависит от ЭДС той частоты, которая преобладает по величине в данном режиме работы возбудителя.

При формировании ИПВ ЯОПВ выполняется четырехфазной, а фазовый сдвиг соседних фаз принимают 90 или 270 электрических градусов. Для получения дополнительного эффекта компаундирования от поля поперечной реакции якоря возбuditеля, возникающего при амплитудной несимметрии ЭДС [3], катушечные группы соседних фаз А и В или С и D 4-фазной ЯОПВ размещают на разных половинах полюсных наконечников [1].

Существует несколько способов формирования якорной обмотки подвозбудителя. В процессе проектирования нового возбудительного устройства для оптимизации его конструкции, технологии изготовления и параметров необходимо рассмотреть различные варианты схем ЯОВ.

Динамические свойства СМБВ, его быстродействие, определяется запасом мощности (коэффициентом форсировки), который имеет совмещенный ПВ в номинальном режиме работы возбудителя.

$$k_{\phi} = \frac{P_{ми}}{P_{ввн}}, \quad (1)$$

где $P_{ввн}$ – номинальная мощность возбуждения СМБВ, Вт; $P_{ми}$ – максимальная мощность подвозбудителя, Вт.

Для обеспечения требований динамики работы возбудителя коэффициент запаса по мощности должен быть не меньше четырех единиц.

В [2] показано, что быстродействие СМБВ может быть достигнуто без существенного увеличения затрат материалов, за счет уменьшения шага катушки ЯОПВ и увеличения их количества в полюсных наконечниках. В этих условиях преобладающей становится индукторная составляющая ЭДС. В связи с этим коэффициент форсировки возбудительного устройства может быть определен в номинальном режиме возбудителя по максимальной мощности ИПВ.

Для наилучшего использования ПВ по мощности выполняют согласование параметров ОВВ и ЯОПВ таким образом, чтобы рабочая точка находилась при токе нагрузки, равном половине тока короткого замыкания преобразователя. Тогда выражение максимальной мощности ИПВ, принимает вид:

$$P_{ми} = \frac{2 \cdot E_{ми}^2 \cdot k_{\Delta U}}{X_{\phiи} \cdot k_{гф}}, \quad (2)$$

где $k_{\Delta U} = 1 - \frac{\pi \cdot \Delta U_{\epsilon}}{2\sqrt{2} \cdot E_{ми}}$ – коэффициент учитывающий падение напряжения в преобразователе; $E_{ми} = E_m \cdot \sqrt{1 - \frac{\Delta E^2}{E_m^2}}$ – расчетная амплитуда ЭДС;

$X_{\phiи} = X_{ми} + X_{си}$ результирующее индуктивное сопротивление фазы ЯОПВ;

$k_{гф}$ – коэффициент, учитывающий влияние активного сопротивления фазы ПВ.

Коэффициентами $k_{гф}$ и $k_{\Delta U}$ можно пренебречь, таким образом, максимальная мощность ИПВ пропорциональна отношению квадрата индукторной ЭДС ($E_{ми}$) к индуктивному сопротивлению фазы ($X_{\phiи}$). С увеличением отношения пазового раскрытия к зазору $b_{п1}/\delta$ увеличивается максимальная мощность ИПВ, но одновременно растет эквивалентный воздушный зазор, в результате коэффициент форсировки практически не увеличивается при $b_{п1}/\delta \geq 7$.

В связи с этим дальнейшее увеличение k_{ϕ} возможно за счет уменьшения индуктивного сопротивления фазы путем рационального выбора структуры ЯОПВ.

В [3] выполнен расчет индукторной ЭДС для различных схем построения ЯОПВ (рис. 2) в режиме холостого хода возбудителя. На рис. 3 представлены зависимости индукторной ЭДС фазы подвозбудителя от величины МДС возбуждения возбудителя.

В дополнение к представленным на рис. 2 схемам была рассмотрена схема являющаяся модификацией схемы 2. Данная схема построения ЯОПВ образуется путем удаления малых зубцов, объединением соседних пазов и применением двухрядной обмотки. Данная схема в дальнейшем будет обозначаться - 3. За счет этого получается меньшая ширина полюсного наконечника, что особенно ценно для возбудителей дизель-генераторных установок в виду ограничения габаритов устройства, [4].

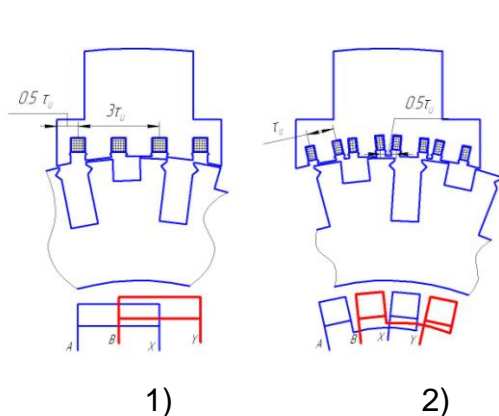


Рис. 2. Схемы построения ЯОПВ

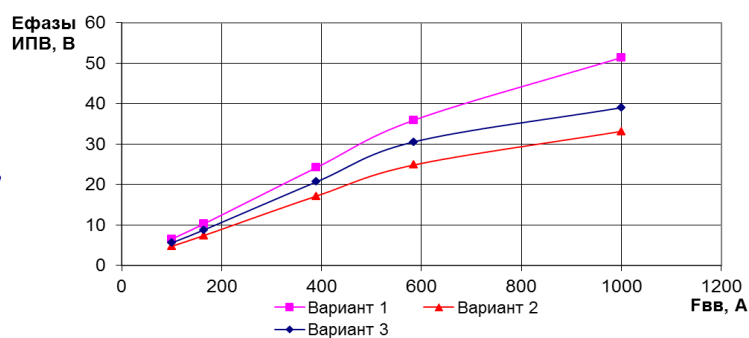


Рис. 3. График зависимости индукторной ЭДС для различных схем ЯОПВ

Расчет индукторной ЭДС для различных схем проводился для одной и той же конфигурации магнитной системы возбuditеля. Поскольку полевая задача решалась на холостом ходу без учета реакции якоря, то значение индукторной ЭДС ЯОПВ, соответствующее ЭДС при номинальном режиме работы генератора, принимается величина соответствующая среднему значению магнитной индукции в зазоре в номинальном режиме работы возбuditеля. Данное значение магнитной индукции достигается при МДС возбуждения 585 А.

Расчет индуктивного сопротивления обмоток проводился по классическим методикам, за исключением схемы 3. Как можно видеть по рисунку 2, данный тип обмотки является двурядным, характерной особенностью которого является наличие двух катушек разных фаз расположенных в одном пазу, каждая из фаз занимает половину паза по ширине и полную высоту. В литературе отсутствуют формулы для расчета индуктивного сопротивления рассеяния такой обмотки. Поэтому в работе проведен анализ поля рассеяния и предложена формула расчета индуктивности рассеяния двурядной обмотки. Результаты расчета проводимостей и индуктивных сопротивлений сведены в таблицу 1.

Таблица 1
Проводимость и индуктивные сопротивления якорной обмотки подвозбuditеля

Вариант	λ_n	λ_n	$X_{\sigma}, \text{Ом}$	$X_m, \text{Ом}$	$X_{\phi}, \text{Ом}$
1	0,777	0,412	0,731	3,532	4,263
2	0,985	0,399	0,425	0,611	1,036
3	0,984	0,399	0,425	0,492	0,917

Мощность, затрачиваемая на возбуждение возбuditеля в номинальном режиме работы, рассчитывалась по формуле

$$P_{\text{МИ}} = R_{\text{ов115}} \cdot I_{\text{ввн}}^2, \quad (3)$$

где $R_{\text{ов115}}$ – сопротивление обмотки возбуждения возбuditеля при рабочей температуре 115 °С, Ом;

$I_{\text{ввн}}$ – номинальный ток возбуждения возбuditеля, А.

Результаты расчета коэффициента запаса по мощности индукторного возбuditеля для номинального режима работы генератора сведены в таблицу 2.

Расчет мощности и коэффициента форсировки

Вариант	X_{ϕ} , Ом	E_{ϕ} , В	$I_{\text{вв}}$, А	$R_{\text{ов}}$, Ом	$P_{\text{ипв}}$, Вт	$P_{\text{вв}}$, Вт	k_{ϕ}
1	0,917	30,6	9,80	3,17	323	2037	6,3
2	4,263	35,9	10,1	3,17	307	605	2,0
3	1,036	24,8	8,80	3,17	245	1191	4,9

Несмотря на принятые допущения относительную оценку по мощности различных схем исполнения ЯОПВ можно считать достоверной. Поскольку учет реакции якоря не приведет к увеличению ЭДС фазы подвозбудителя, возникающей за счет эффекта увеличения мощности четырехфазного мостового преобразователя.

По результатам расчета видно, что несмотря на то, что схема 1 имеет наибольшую ЭДС в фазе 35,9 В, коэффициент запаса по мощности в два раза меньше требуемого. Это явилось следствием большого взаимоиндуктивного сопротивления обмоток [5].

Схемы 2 и 3 обеспечивают минимальный запас по мощности и даже превышают его на 57 % и 22,5 % соответственно. Стоит отметить, что при форсировке наблюдается насыщение полюсов индуктора возбудителя потоками рассеяния полюсов, влияние которых может быть весьма существенно. Особенно это характерно для полюсов, имеющих большой коэффициент полюсного перекрытия, поэтому при схеме 2 влияние потоков рассеяния будет сказываться в большей степени, чем при схеме 1. В связи с этим в дальнейшем необходимо дополнительно исследовать форсировочный режим работы возбудителя.

Таким образом, схема обмотки 3 наиболее полно отвечает требованиям динамики, предъявляемым к возбудителю. За счет меньших размеров полюсного наконечника, и лучших по сравнению с рассматриваемыми схемами параметров обмотки ее применение целесообразно в возбудителях небольших синхронных генераторов.

Список использованных источников

1. Пат. 2095923 RU, МКИ 6 О2 К 19/38, 21/04. Синхронная машина с совмещенным многофункциональным бесщеточным возбудителем / А. Т. Пластун, В. И. Денисенко, В. Т. Карташов, Р. Г. Гольдин, Ю. И. Гольмаков, Ф. Р. Коренцвит, А. С. Шелепов № 9403168; Заявл. 29.08.94; Оpubл. бюл. № 31, 1997; 14 с.
2. Математическая модель СМБВ для расчета эксплуатационных режимов работы комплекса «генератор – двигатель»/ Пластун А. Т., Денисенко В. И., Мойсейченков А. Н. // Электромеханика и управляемые электромеханические системы: Вестник Уральского государственного технического университета – УПИ. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. с. 13 – 22.
3. Денисенко В. И., Кычанов М. В. Оценка величины индукторной ЭДС при различных способах построения обмотки индукторного подвозбудителя
4. Пластун А. Т., Денисенко В. И., Мойсейченков А. Н., Кычанов М. В. Особенности электромагнитного ядра совмещенного многофункционального бесщеточного возбудителя для дизельгенераторов малой мощности» тр. XI междунар. конф. Электротехника, электромеханика и электротехнологии. (г. Алушта, 18 – 22 сент. 2006 г.). ч 1 С. 319 - 320.
5. Денисенко В. И., Пластун А. Т., Хоробрых Г. В. Влияние структуры якорной обмотки совмещенных возбудительных устройств синхронных машина на работу четырехфазного мостового преобразователя тр. XI междунар. конф. Электротехника, электромеханика и электротехнологии. (г. Алушта, 18 – 22 сент. 2006 г.). с. 146 - 153.